

成果報告：床・壁②

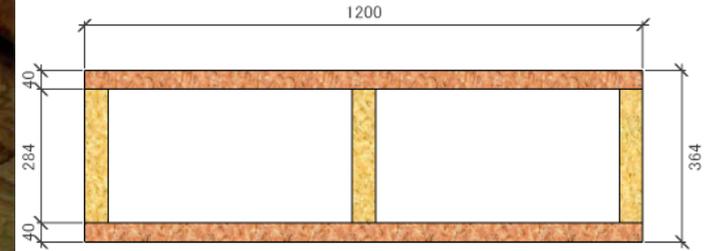
LVLを中心として

東京大学大学院農学生命科学研究科
教授 稲山正弘

LVL-SSP (ストレススキンパネル)



ストレストスキンパネルとは



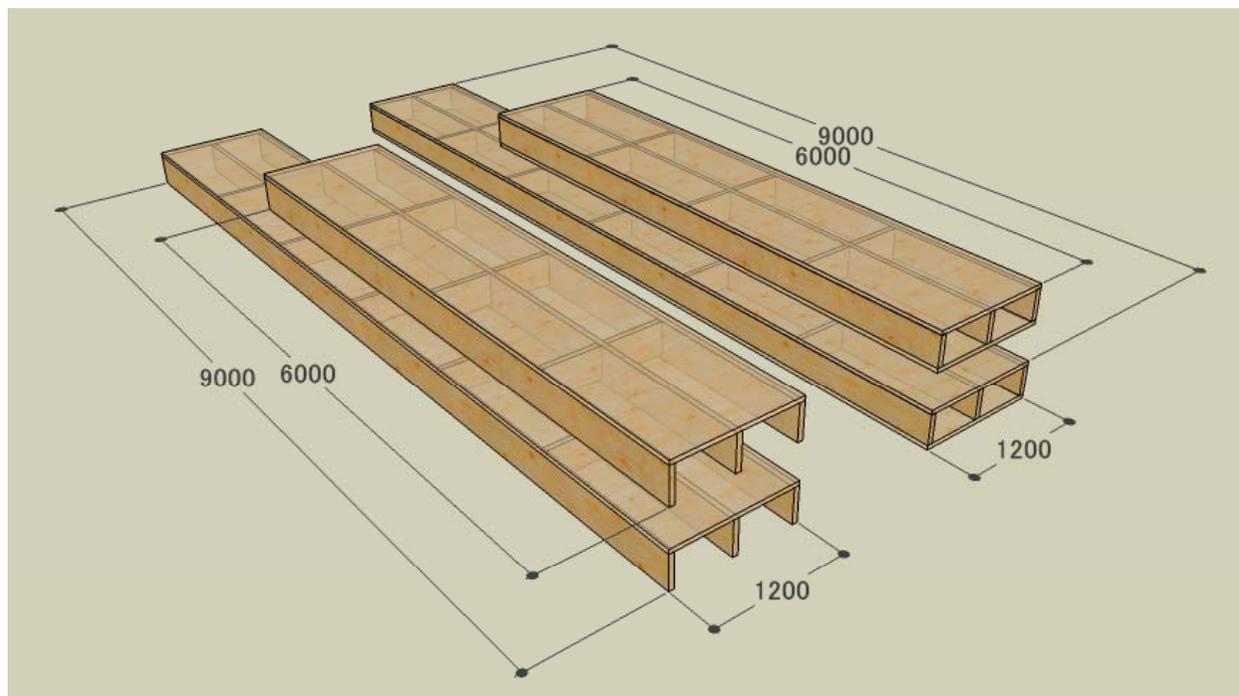
左写真：
岐阜県立森林文化アカデミー
マルチメディア実習棟の
2階床 LVLストレストスキンパネル

幅広のフランジ板とウェブ材から構成する木質ボックスビーム、単材の梁に比べて成を小さく抑えられるため、天井高の高い大スパン空間の2階床をつくるのに適している。

LVL-SSP (ストレススキンパネル)

- スパン表の考え方
- 実大SSP曲げ性能
- 接着ビス接合せん断性能
- 長期性能 (クリープ)

スパン表



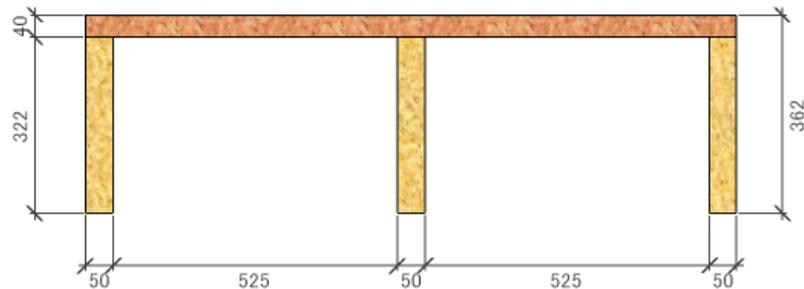
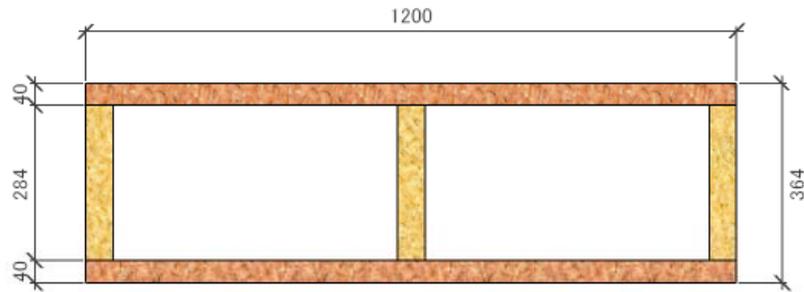
梁せい mm	300	350	400	450	500	550	600	650
スパン M	5.2	6.3	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4	12.0

フランジ・ウェブ:LVL 荷重条件:事務所

スパン表

角拍幅	B_s	[mm]	400	400	400	400	400	400	400		
金葉状い	H	[mm]	300	350	400	450	500	550	600	650	
フランク厚	t_f	[mm]	38	38	38	38	38	38	38		
ウェブ厚	t_w	[mm]	50	50	50	50	50	50	50		
フランクE	E_f	[N/mm ²]	90E_1	90E_1	90E_1	90E_1	90E_1	90E_1	90E_1		
ウェブE	E_w	[N/mm ²]	120E_1	120E_1	120E_1	120E_1	120E_1	120E_1	120E_1		
Function			事務室	事務室	事務室	事務室	事務室	事務室	事務室		
各階層による 最大スパン	たわみ制限	$< 8Fl_s$	[mm]	20018	22214	11048	11828	12588	13278	13854	14608
	初期たわみスパン比 (標準値)	$< 1/600$	[mm]	8584	9388	10748	11771	12784	13730	14674	15588
	初期たわみスパン比 (せん断変形考慮、100mm以内)	$< 1/600$	[mm]	8100	8800	10200	11200	12100	13100	14000	14900
	たわみによる最大スパン	[m]	8.1	9.2	10.2	11.2	12.1	13.1	13.9	14.6	
	ウェブのみ	$\sigma_b \perp_{web_only}$	[mm]	5247	5303	7487	8490	9493	10477	11443	12384
	標準値のウェブ (標準)	$\sigma_b \perp_{web}$	[mm]	5398	5484	7539	8543	9534	10509	11489	12445
曲げ応力による最大スパン	[m]	5.2	6.3	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4	12.3		
ウェブせん断応力による最大スパン	[m]	21.9	233.0	263.9	293.7	322.4	350.1	374.5	395.3		
許容スパン			5.2	6.3	7.4	8.4	9.4	10.4	11.4	12.3	
許容スパン 時の性能値	たわみ制限係数	f_s	[%]	15.3	12.4	10.5	9.3	8.4	7.6	7.0	6.6
	初期たわみ	δ_0	[mm]	2.7	2.9	4.0	5.1	6.3	7.5	8.9	10.1
	スパン比	H	V 188	V 188	V 169	V 167	V 167	V 152	V 149	V 149	
	一件断面としての曲げ応力	σ_b	[N/mm ²]	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.2	2.4	2.5
	換元比	H	0.08	0.10	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	

スパン表の考え方



ウェブ : ウェブ フランジ : フランジ

- ・ウェブのみで、曲げとせん断を満足することを確認

- ・たわみは、全断面一体としての断面2次モーメントで計算



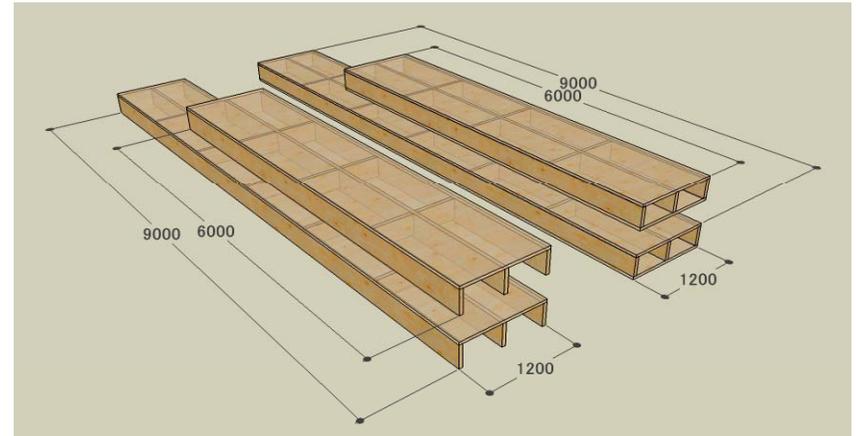
フランジ：
カラマツLVL 38mm 直交層有



ウェブ：
カラマツLVL 50mm 直交層無

直交層を入れることで、90度方向の寸法安定性を向上

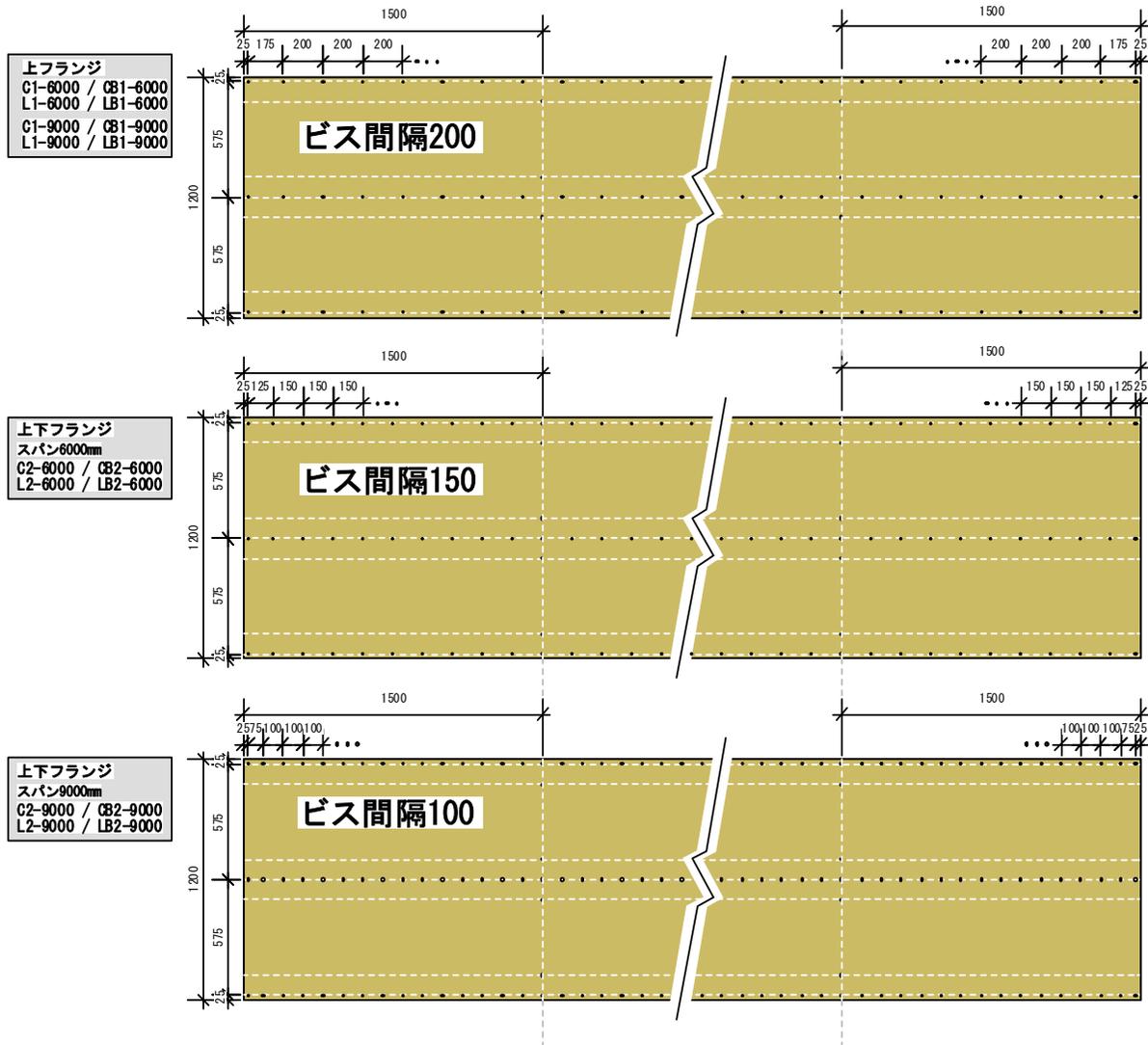
実大SSP曲げ試験



試験体種類

名称	LVL材種	接着剤	フランジ数	スパン	試験体数	ビス間隔
L1-6000	スギ	×	1	6000	各3体	200
L1-9000			9000	200		
L2-6000			2	6000		150
L2-9000			2	9000		100
LB1-6000		○	1	6000		200
LB1-9000			9000	150		
LB2-6000			2	6000		100
LB2-9000			2	9000		100
C1-6000	カラマツ	×	1	6000	各3体	200
C1-9000			9000	150		
C2-6000			2	6000		100
C2-9000			2	9000		100
CB1-6000		○	1	6000		200
CB1-9000			9000	150		
CB2-6000			2	6000		100
CB2-9000			2	9000		100

フランジとウェブの接着ビス止めの仕様





SSP試験体の製造工程







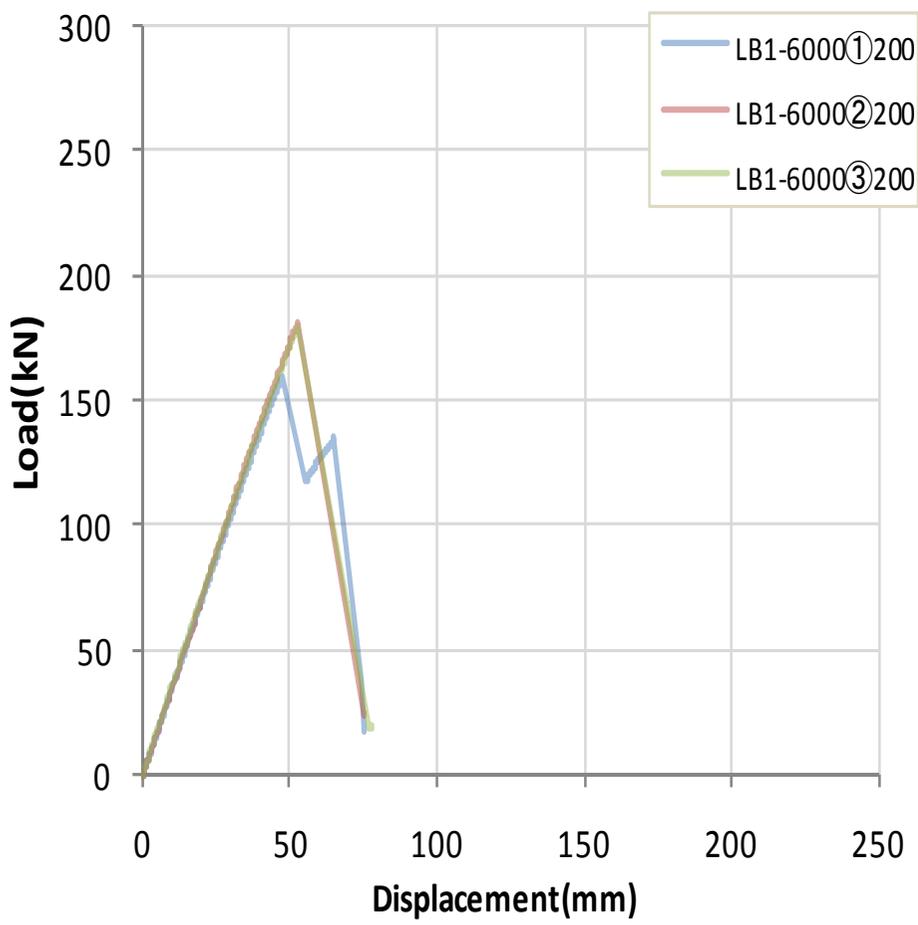


LB2-6000 ウェブの曲げ破壊(左)

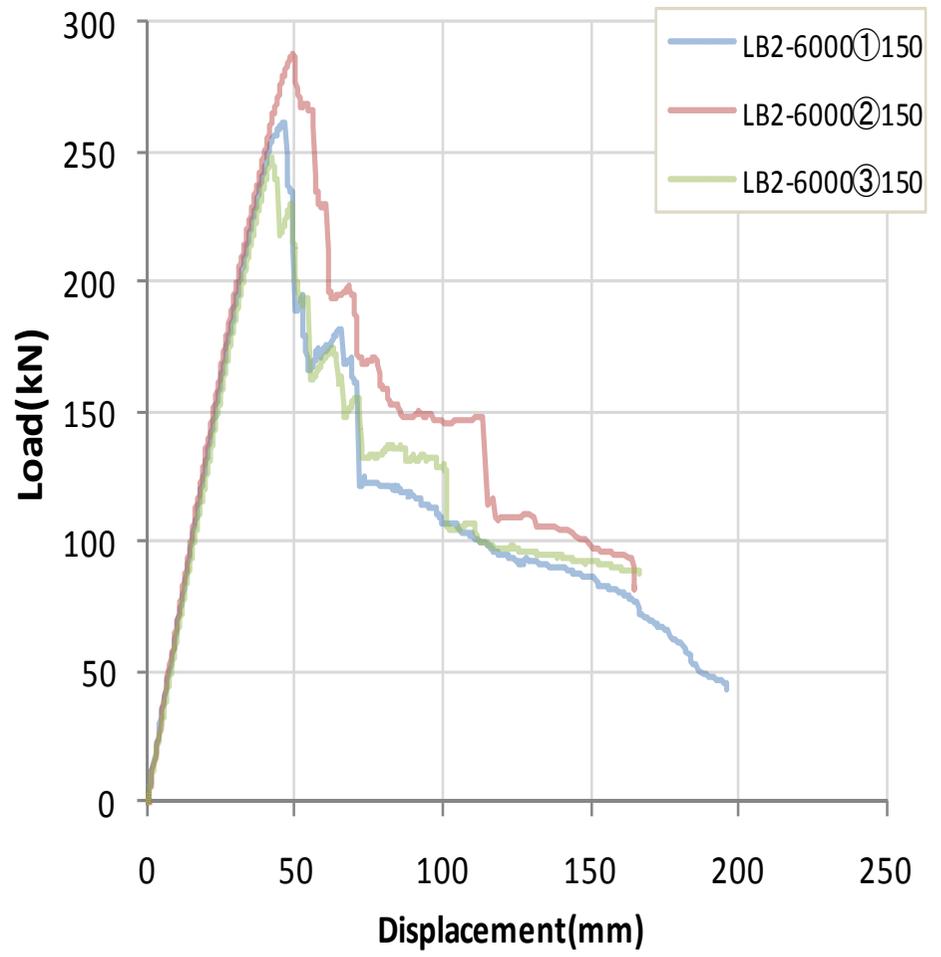


端部直交単板のrolling shear(右)

実大曲げ試験の荷重-変位グラフ



LB1-6000



LB2-6000

実大曲げ性能の推定式

初期剛性

$$K = \left(\frac{23L^3}{6^4 EI} + \frac{L_s S_x}{4G \sum b \cdot I_q} \right)^{-1}$$

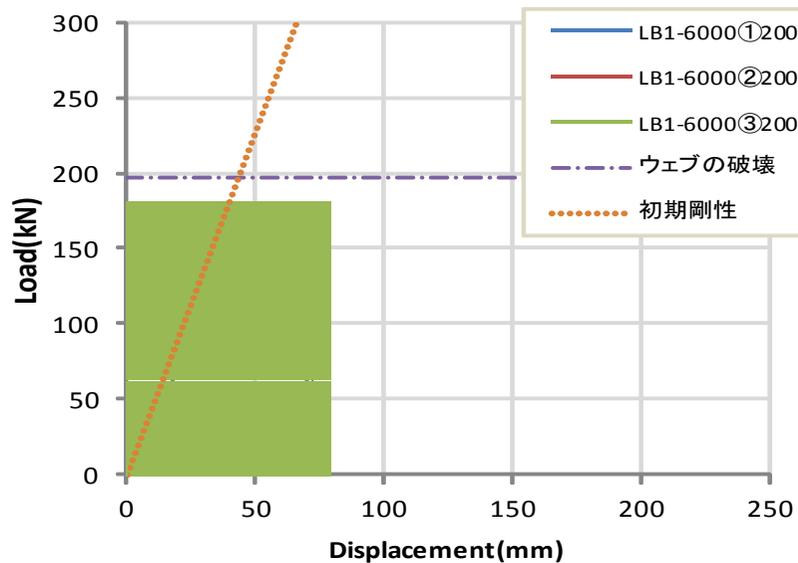
直交単板のローリングシアアで決まる最大耐力

$$P_{\max} = 2Q_{\max} = \frac{2\sigma_r \sum b \cdot I_q}{S_1}$$

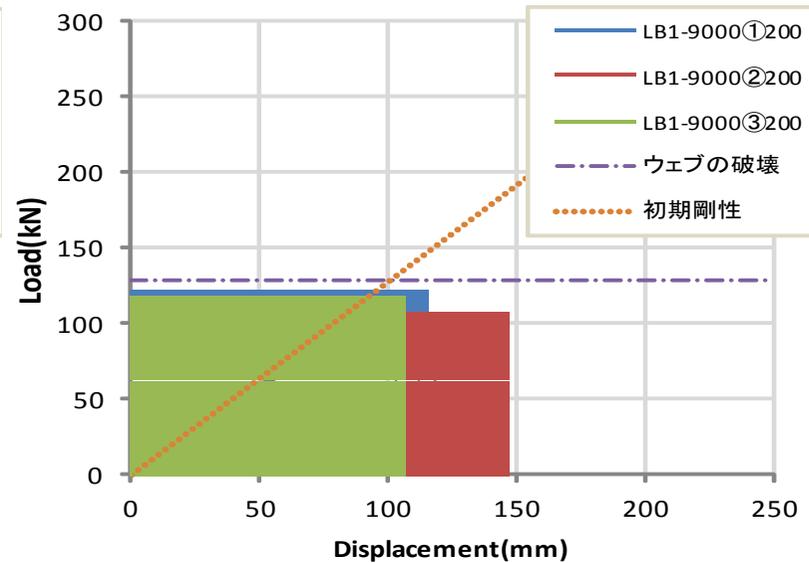
ウェブの曲げ破壊で決まる最大耐力

$$P_{\max} = 6Z\sigma_b / L$$

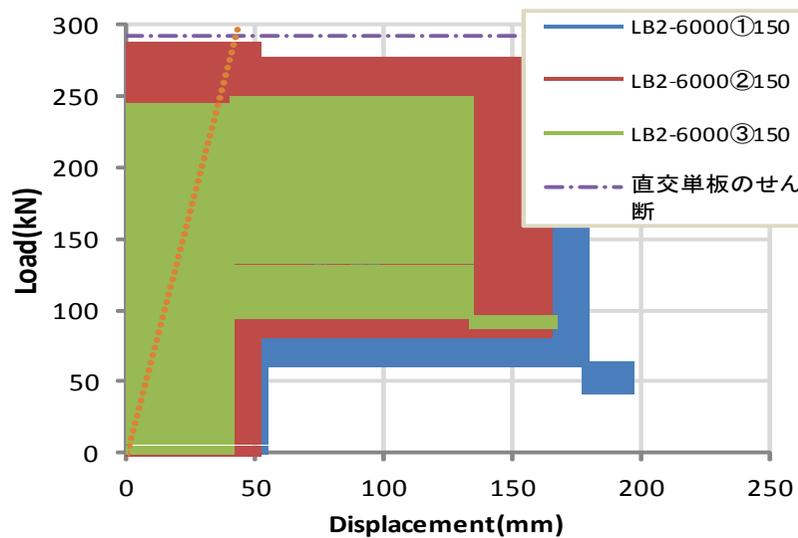
実大曲げ試験の実験値と推定値の比較



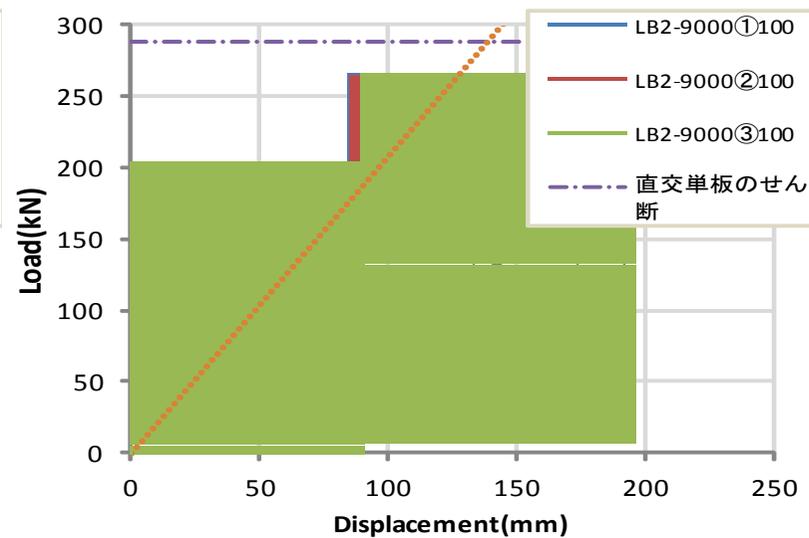
LB1-6000



LB1-9000



LB2-6000



LB2-9000

公共建築物における LVL-SSPの実例

林業機械化センター
研修棟の2階床LVL-SSP



群馬県安中市立九十九小学校の2階床LVL-SSP



群馬県安中市立九十九小学校の2階床LVL-SSP



LVL-SSP: 成600 × 幅2.5m × 長18m



イケア、フィンランド(メツァウッド)

接着剤を併用したビス留め部の接合性能

1. 概要

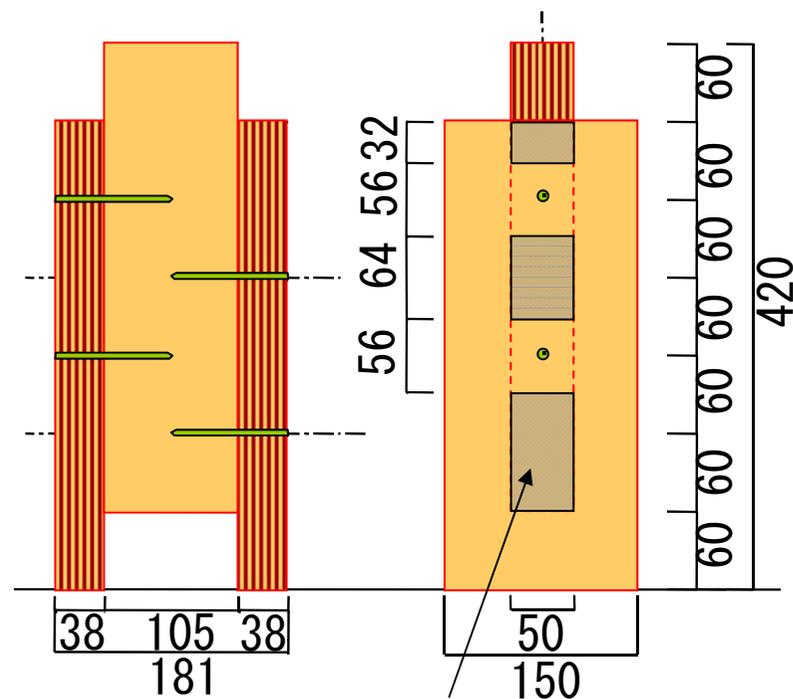
- 水平構面の剛性向上や床鳴り防止などを目的とした床根太用接着剤が普及
- 幅広い環境条件と許容度の広い作業条件で安定した接着性能を有することが認められ、現場施工対応としてJIS A5550で規定された。
- JIS A5550では各種接着・養生条件下における基準せん断強度が規定されているが、剛性、ばらつきの評価などは行われない。
- 接着剤・ビス留めを併用したSSPを設計するため、接合部性能を評価した。



接着剤を併用したビス留め部の接合性能

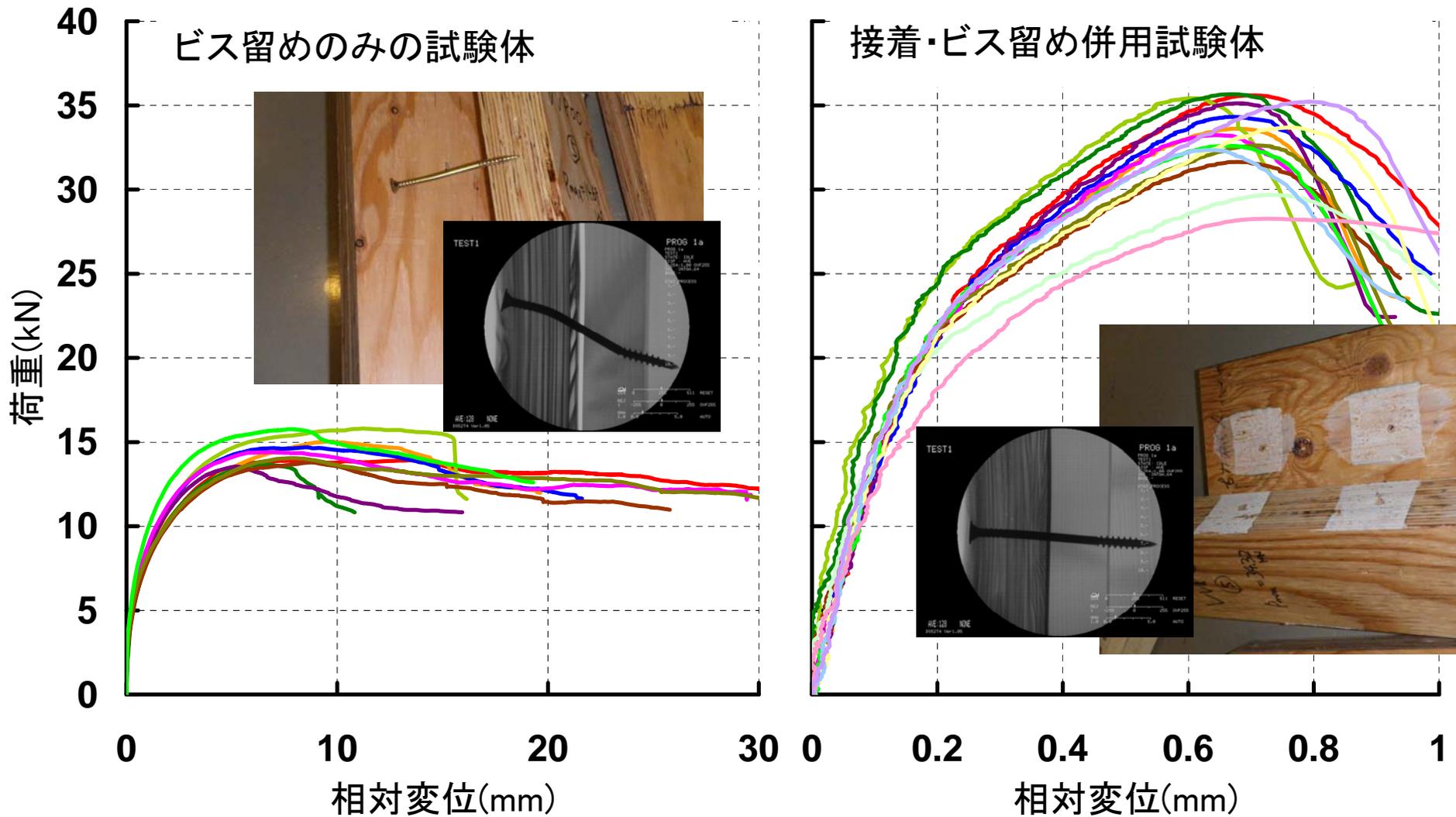
2. 試験方法

- 一面せん断試験により評価。
- ビス留め部周辺のみ
に塗布した接着剤を
接合部1箇所と定義。
- 接合・養生条件によ
る低減も考慮。
- 実際のSSP(全面塗
布)とも比較。



接着剤を併用したビス留め部の接合性能

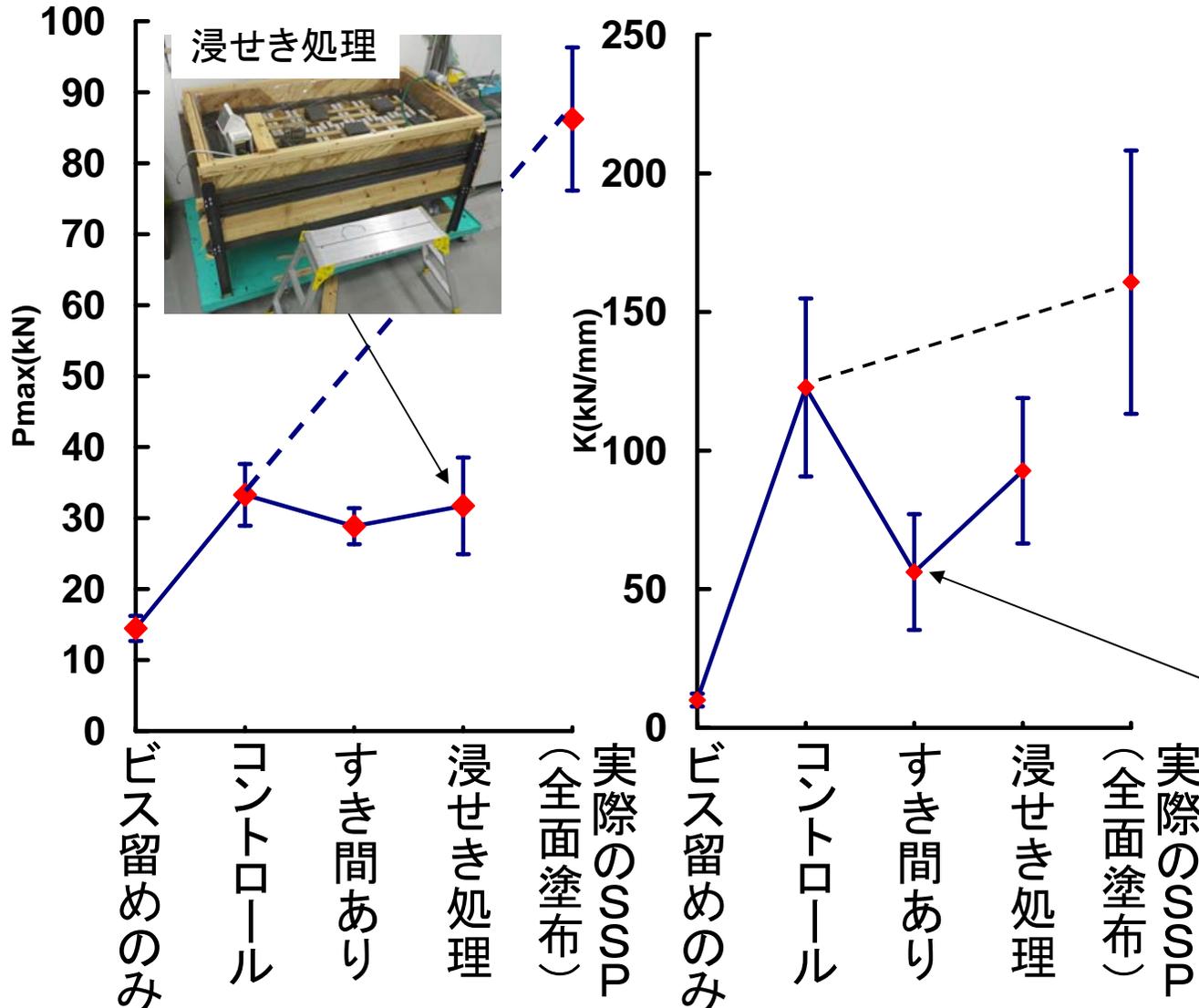
3. 結果



接着剤の併用により最大耐力、剛性は増加

接着剤を併用したビス留め部の接合性能

4. 計算結果のまとめ



・接着層間にすき間が存在すると、剛性が低下
・実際のSSPと比較して、耐力、剛性共に安全側で評価された。



すき間あり
(φ1.6mm針金を挟んで接着)

長期性能検討(クリープ)



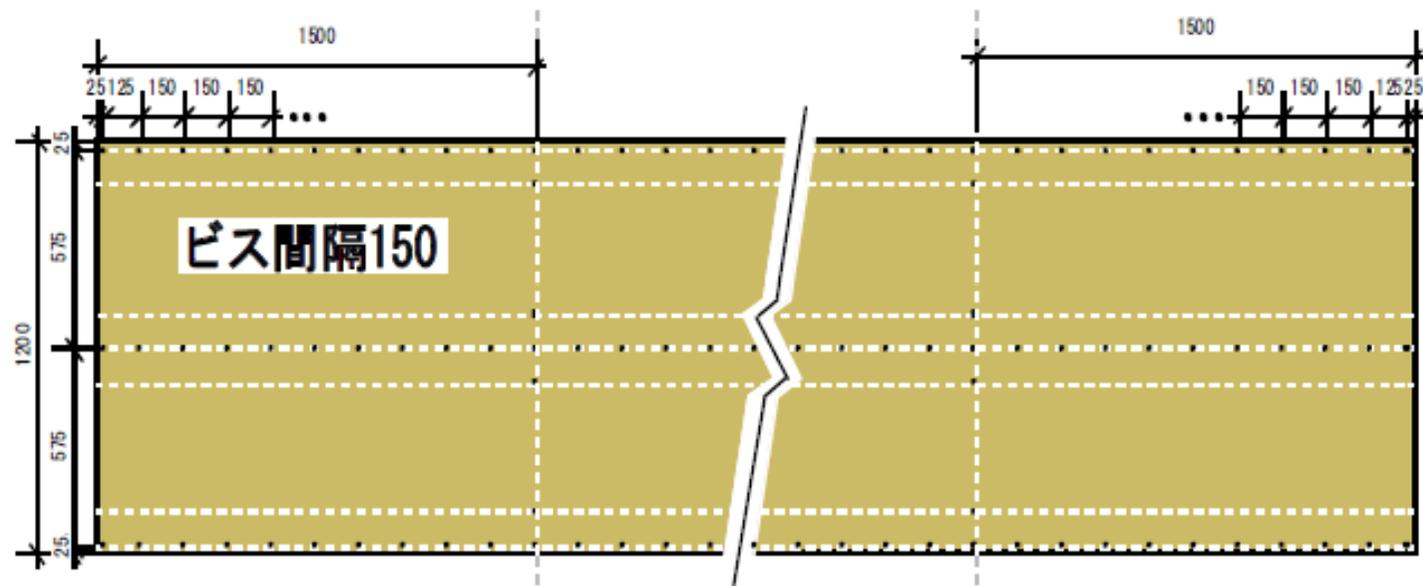


図 LVL-SSPの仕様

図 静的曲げ試験結果

No	最大荷重 kN	降伏点荷重 kN	降伏点変位 mm	初期剛性 kN/mm
CB2-6000①150	261.8	158.8	24.42	6.504
CB2-6000②150	287.3	164.1	24.51	6.695
CB2-6000③150	248.4	145.0	23.04	6.293
平均値	265.8	156.0	23.99	6.497
標準偏差	19.8	9.87	0.82	0.20

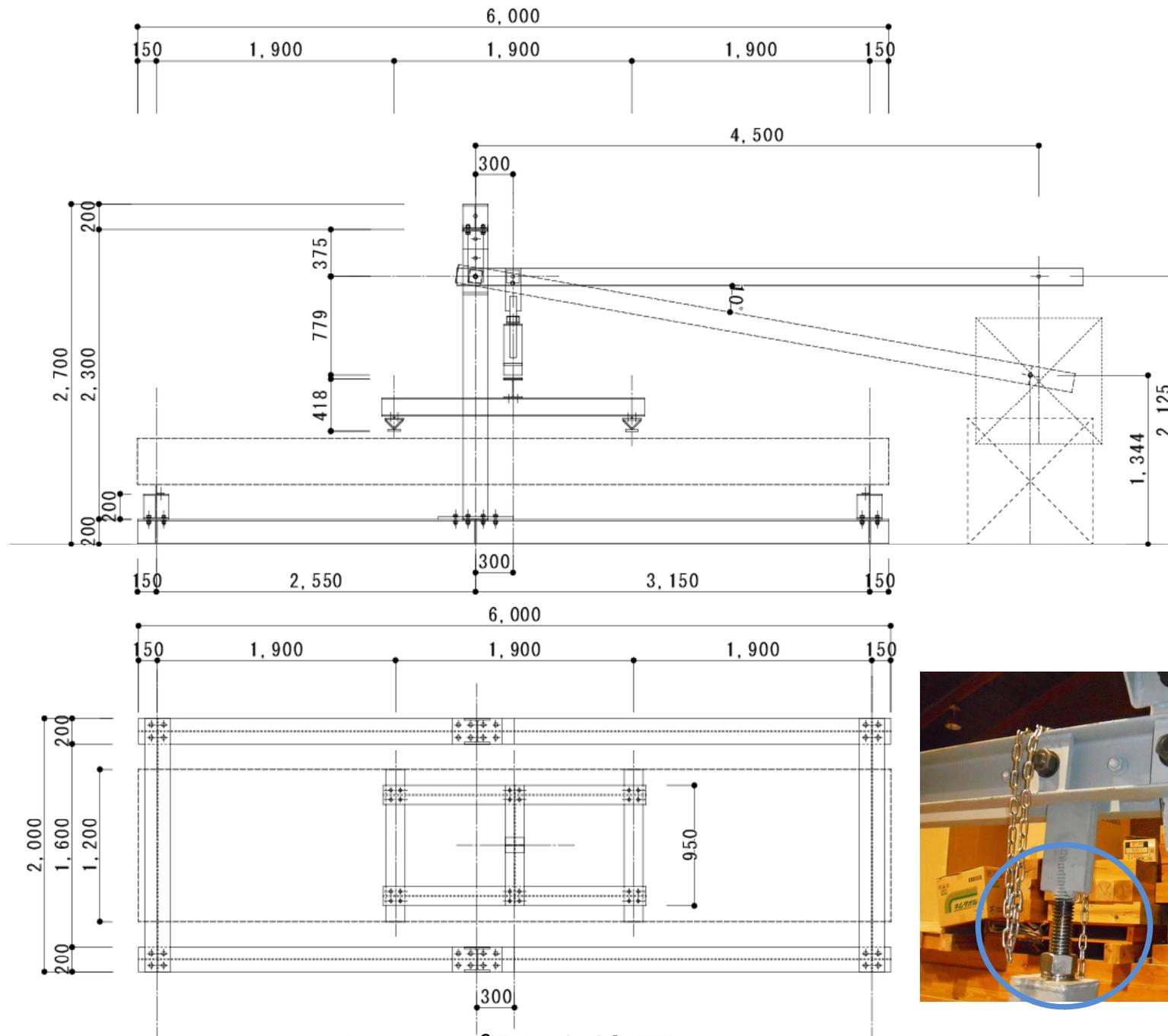


図 クリープ試験装置

写真 アームレベル調整ナット

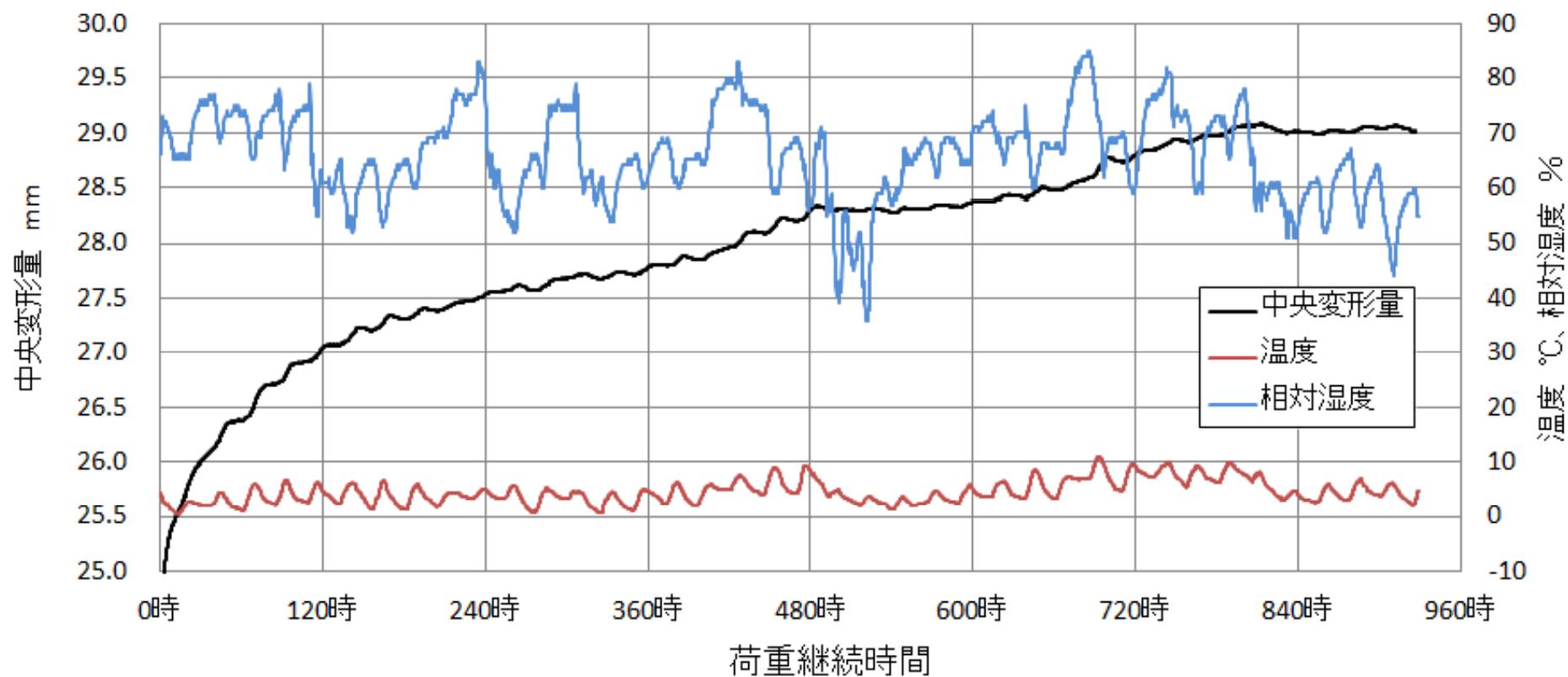


図 荷重継続時間(5週間経過)と中央変形量及び温湿度の関係

表 24時間後からのクリープ試験の解析結果(5週間経過時点)

d_{24h}	R^2	傾き f	切片 e	d_{50year}	d_{50year}/d_{24h}	K_{50year}
25.89	0.965	-0.0326	0.0592	39.42	1.52	0.657

※ d_{24h} :24時間後の中央たわみ(mm), R^2 : $\log_{10} K_t$ と $\log_{10} t$ の回帰直線の決定係数,
 f : $\log_{10} K_t$ と $\log_{10} t$ の回帰直線の傾き, e : $\log_{10} K_t$ と $\log_{10} t$ の回帰直線の切片,
 d_{50year} :50年後の中央たわみの予測値(mm), K_{50year} :荷重継続時間50年に
 対するクリープたわみ比の予測値。

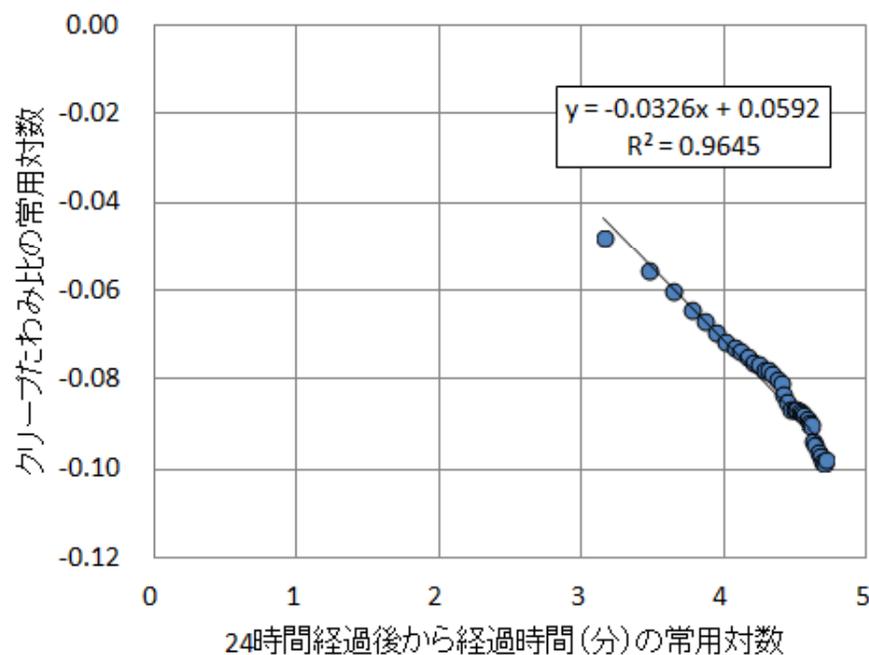


図 クリープたわみ比と経過時間

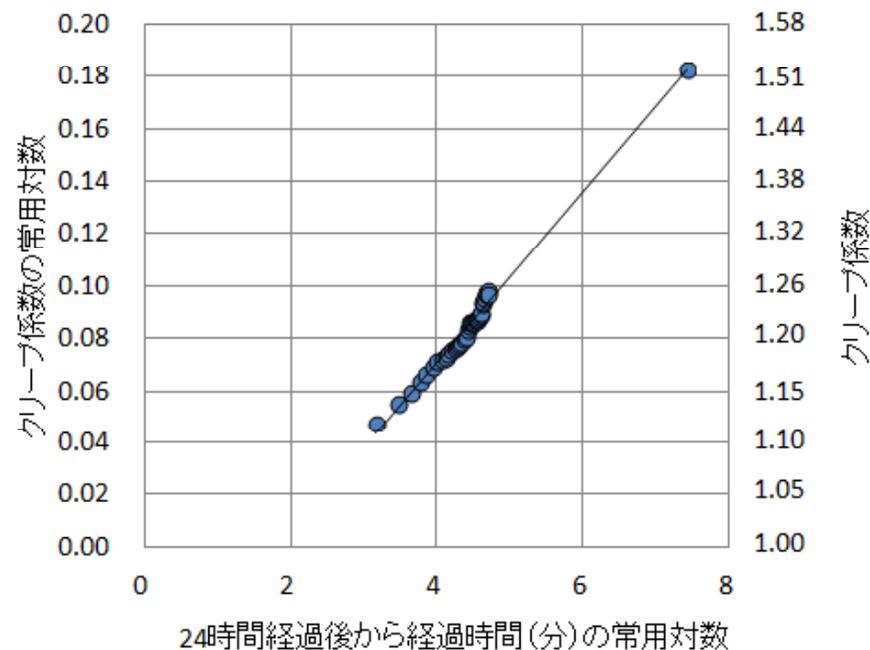


図 クリープ係数と経過時間

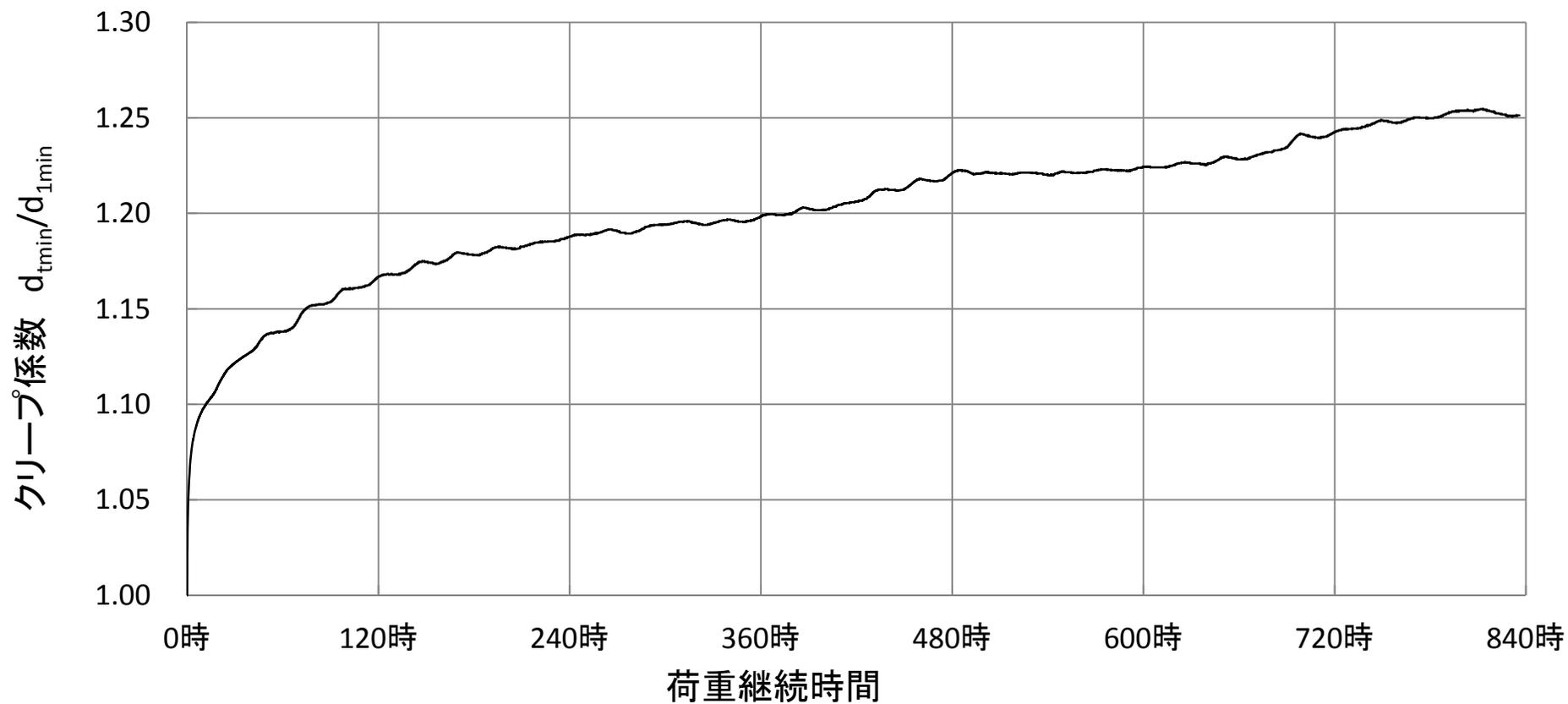


図 クリープ係数(d_{tmin} / d_{1min})と荷重継続時間

LVL厚板耐力壁の 性能確認試験

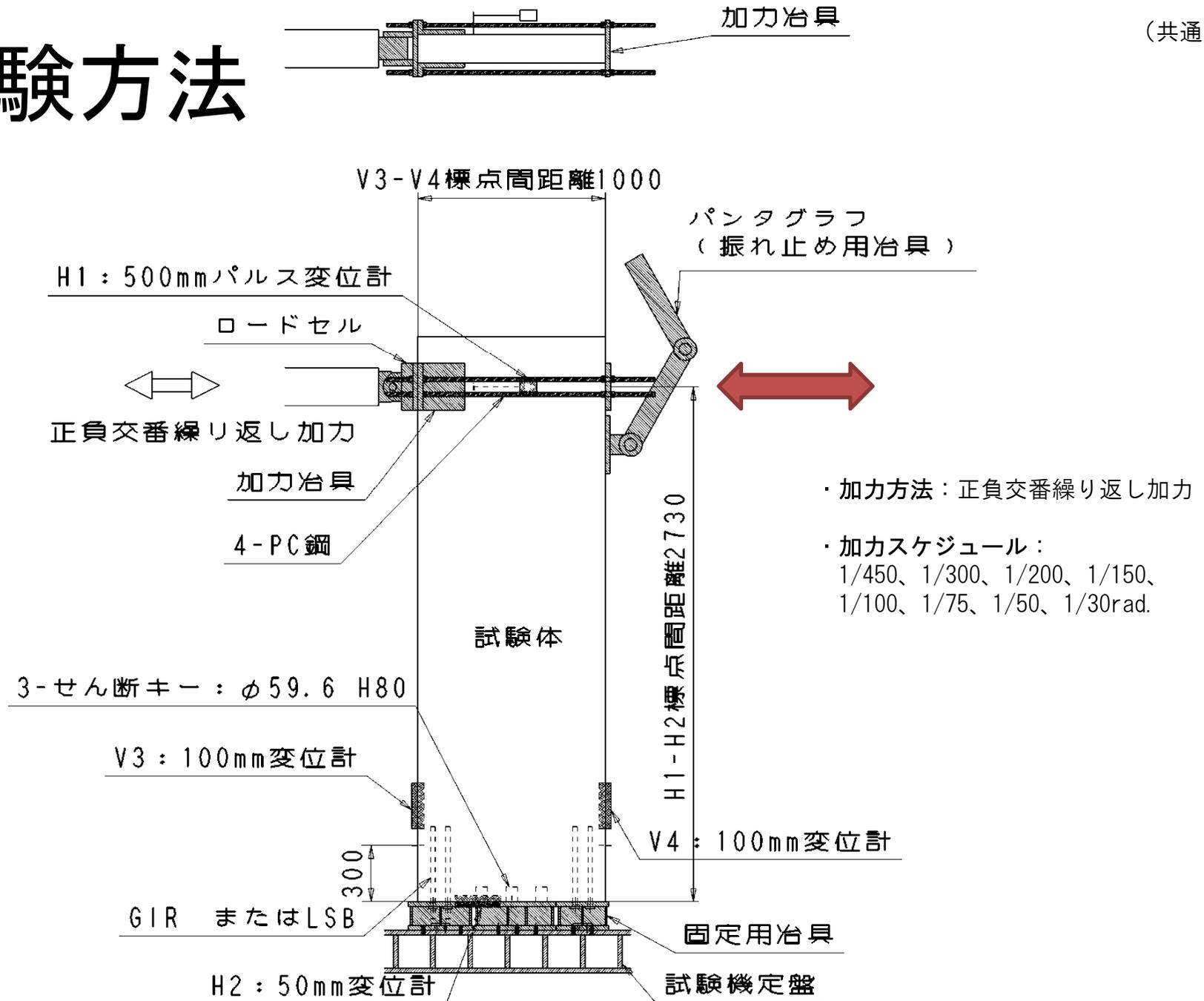


厚板耐力壁による 木造住宅の例 (I 邸)

厚板壁による大規模木造建築の例(ウトコリミテッド)



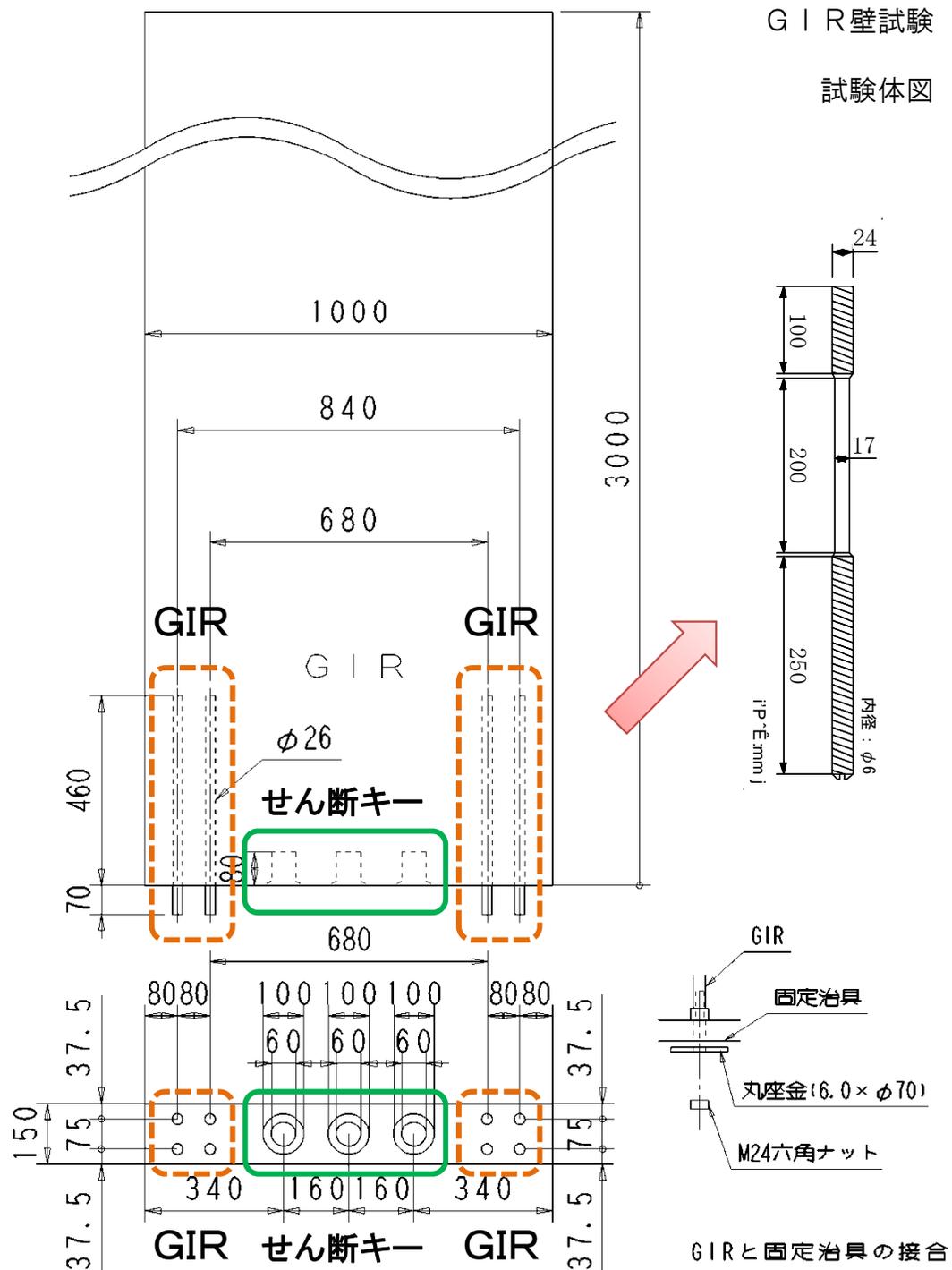
試験方法



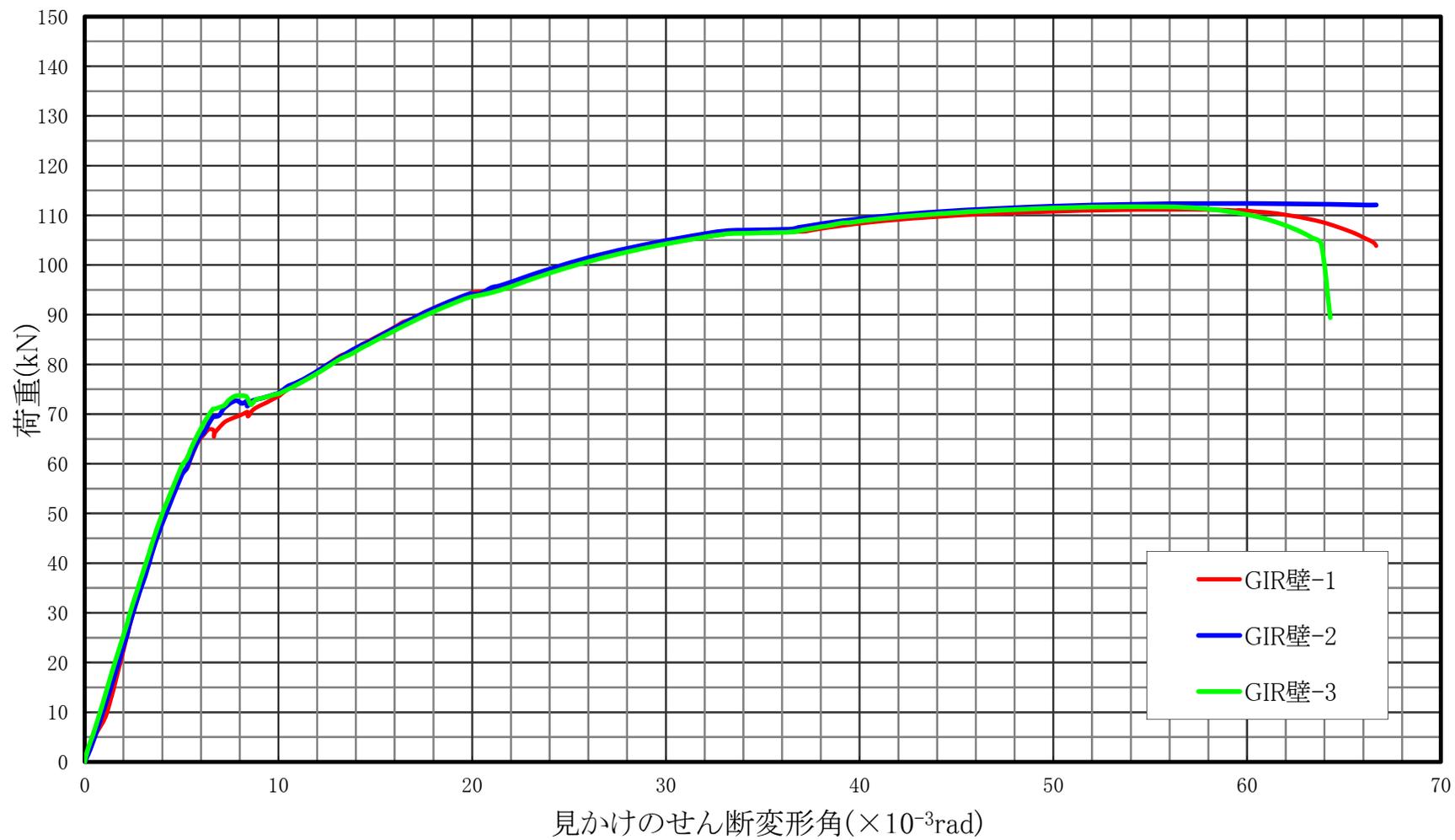
GIR壁試験体



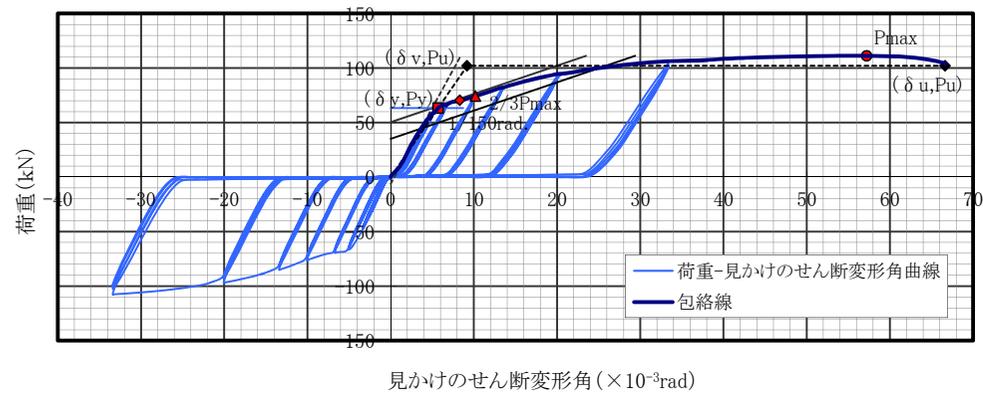
壁仕様
LVL 120E 1級
厚150×幅1000×高3000 mm



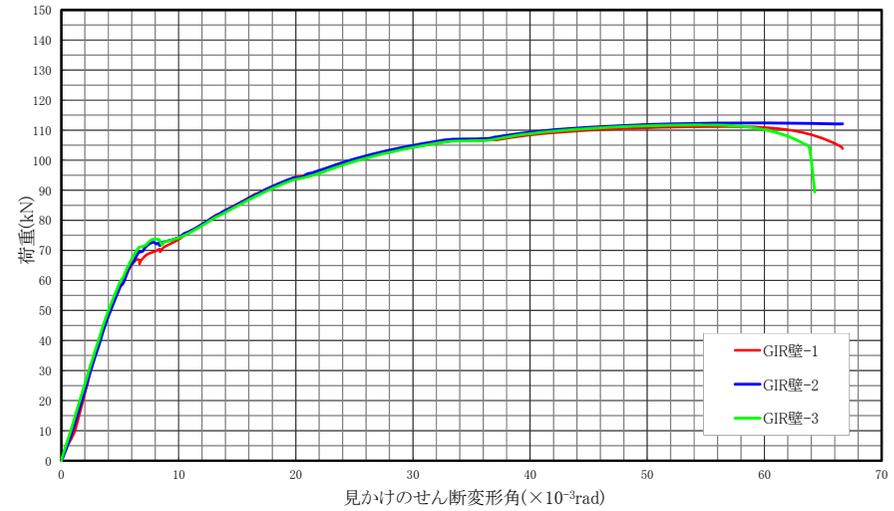
“GIR壁-1~3”の包絡線比較



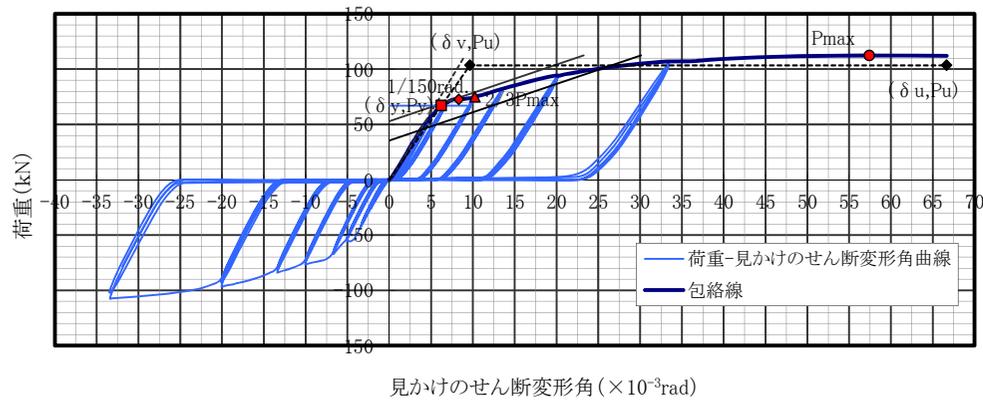
“GIR壁-1”
荷重-見かけのせん断変形角曲線及び包絡線



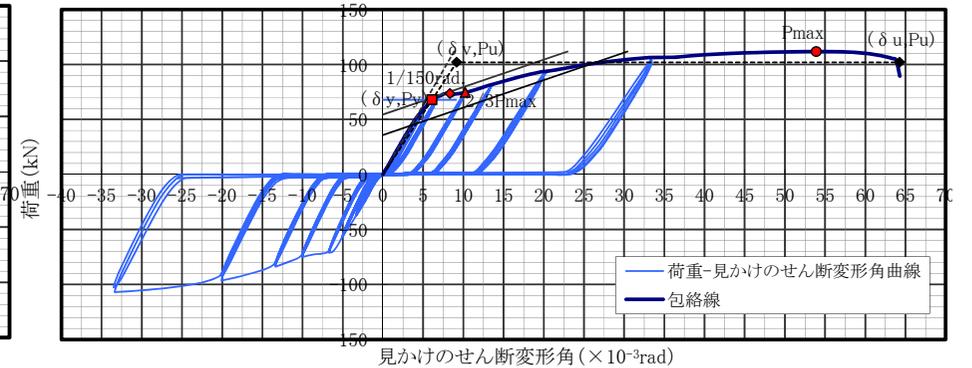
“GIR壁-1~3”の包絡線比較



“GIR壁-2”
の荷重-見かけのせん断変形角曲線及び包絡線



“GIR壁-3”
の荷重-見かけのせん断変形角曲線及び包絡線



グラフ中の記号 ■ : P_y ▲ : $2/3P_{max}$ ◆ : $1/150rad.$ ● : P_{max}

GIR壁 試験結果

試験体記号	加力方法	降伏耐力 P_y [kN]	終局耐力 $P_u \times (0.2/Ds)$ [kN]	$2/3P_{max}$ [kN]	1/120rad. 時の荷重 [kN]	最大荷重時	
						P_{max} [kN]	δ_{max} [rad.]
GIR壁-1	正負交番 繰返し加力	63.26	75.55	74.13	73.55	111.19	57.22
GIR壁-2		66.94	73.87	74.93	70.29	112.40	57.42
GIR壁-3		67.91	72.84	74.51	72.50	111.77	53.90
平均		66.04	74.09	74.52	72.11	111.79	56.18
標準偏差		2.45	1.37	0.40	1.66	—	
変動係数		0.037	0.018	0.005	0.023		
ばらつき係数 ※2		0.983	0.992	0.998	0.989		
短期基準せん断耐力 P_0		64.92	73.50	74.37	71.32		
短期許容せん断耐力 P_a		64.92	73.50	74.37	71.32		
壁倍率		33.12	—	—	—		

破壊性状



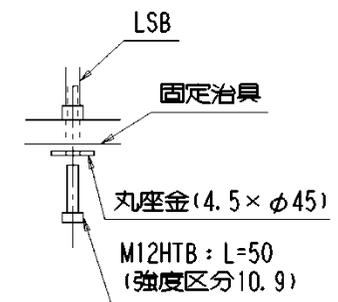
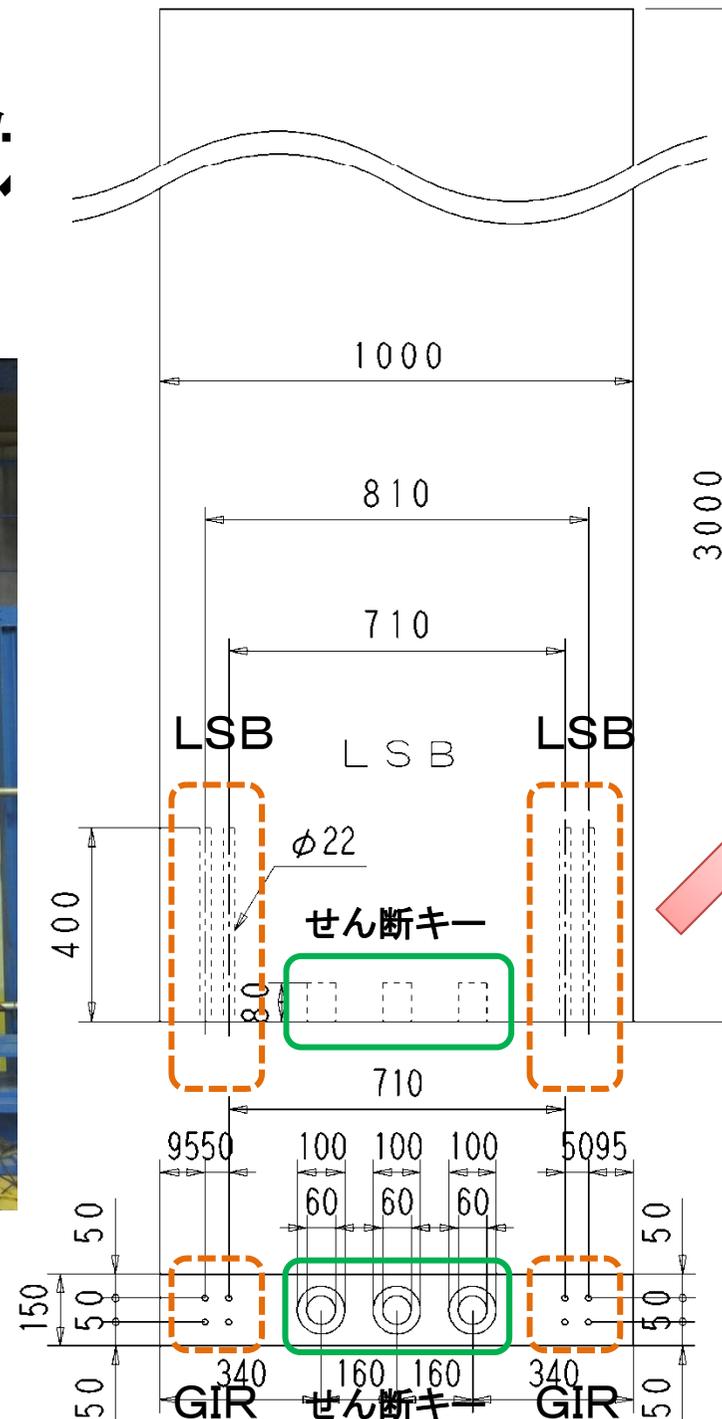
- ・ GIR(伸びる部分)の破断
- ・ 面材(LVL)の破壊は確認されなかった。
- ・ 高い変形性能



LSB壁試験

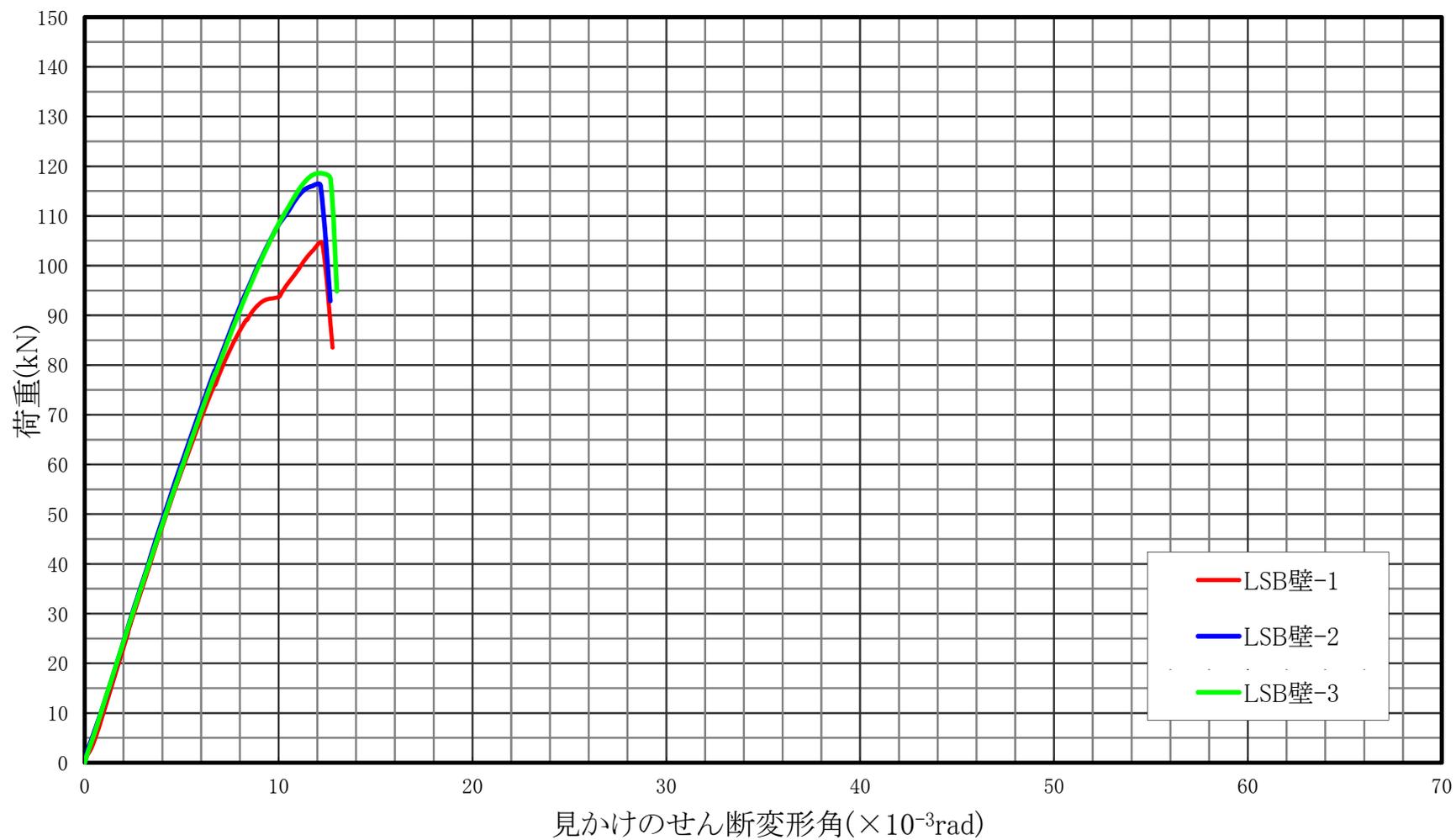


壁仕様
LVL 120E 1級
厚150×幅1000×高3000 mm

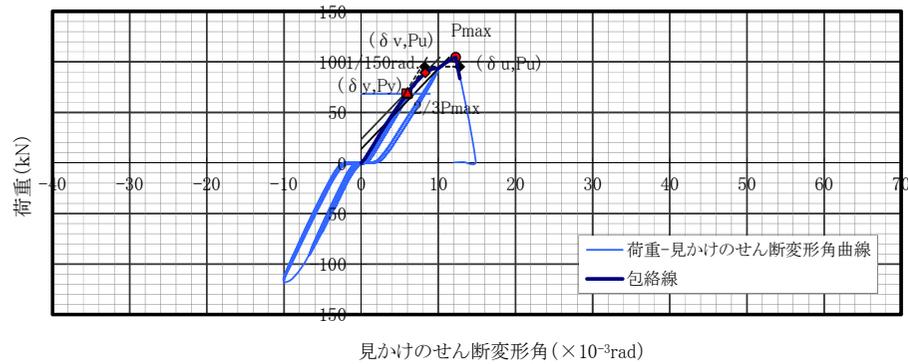


LSBと固定治具の接合

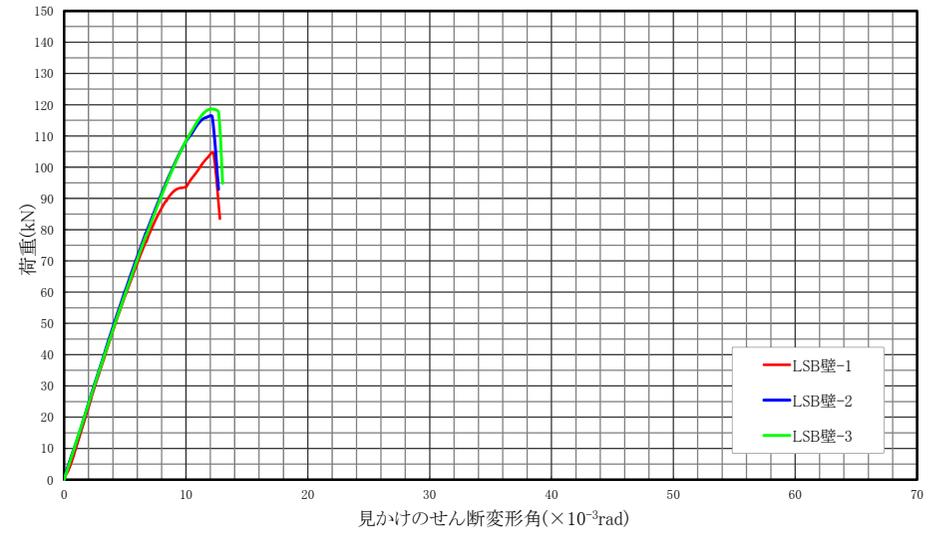
“LSB壁-1~3”の包絡線比較



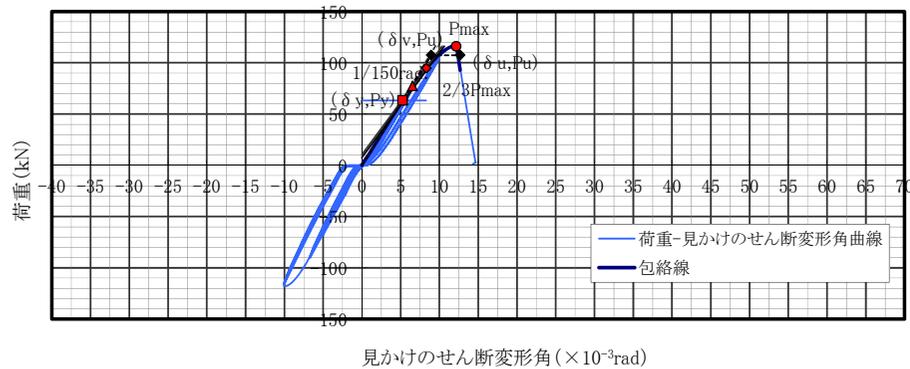
“LSB壁-1”
荷重-見かけのせん断変形角曲線及び包絡線



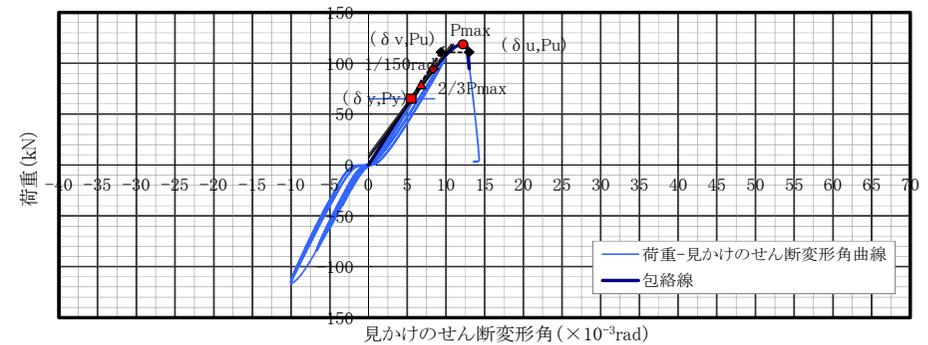
“LSB壁-1~3”の包絡線比較



“LSB壁-2”
の荷重-見かけのせん断変形角曲線及び包絡線



“LSB壁-3”
の荷重-見かけのせん断変形角曲線及び包絡線



グラフ中の記号 ■:Py ▲:2/3Pmax ◆:1/150rad. ●:Pmax

LSB壁 試験結果

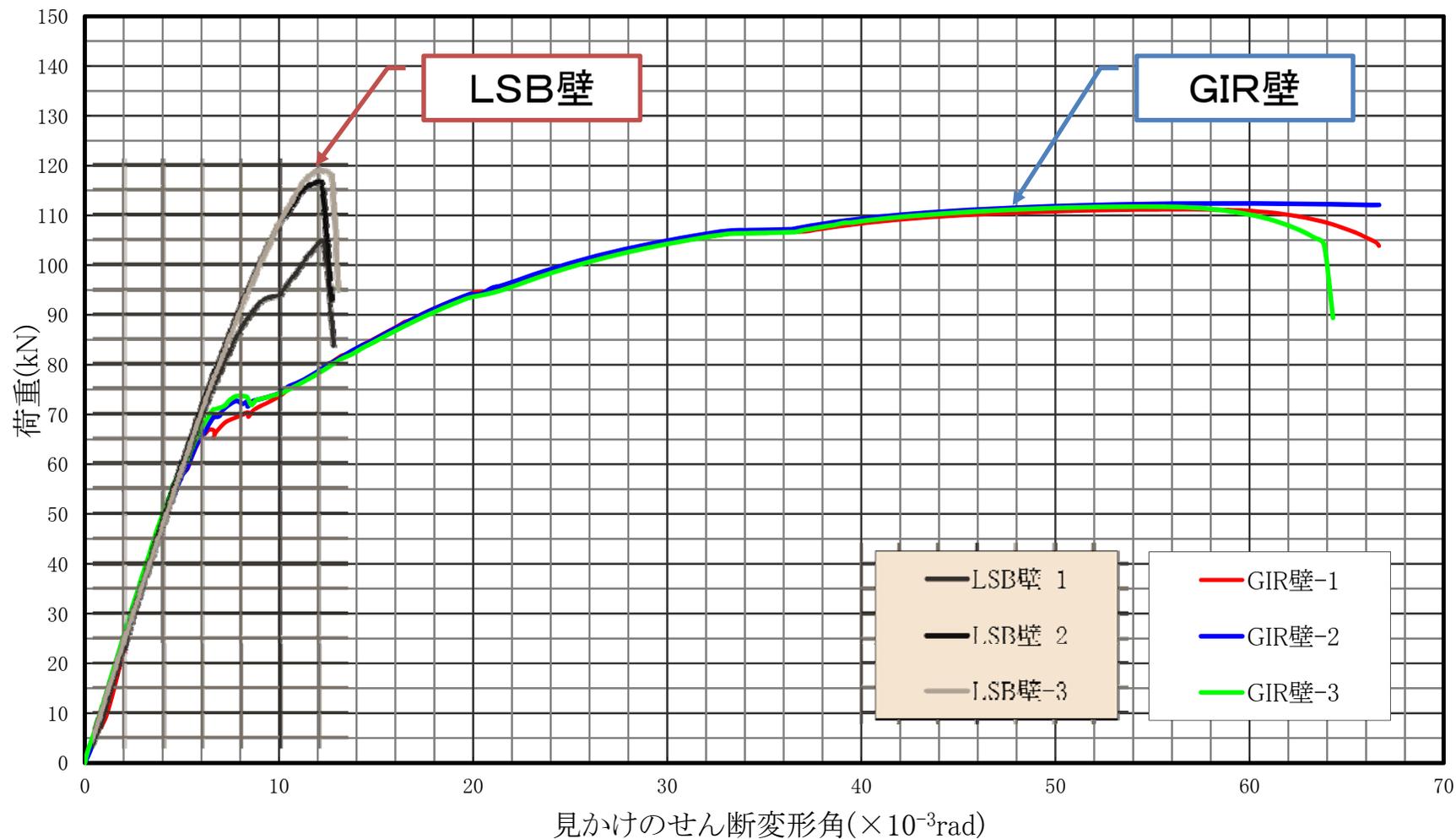
試験体記号	加力方法	降伏耐力 P_y [kN]	終局耐力 $P_u \times (0.2/Ds)$ [kN]	$2/3P_{max}$ [kN]	1/120rad.時 の荷重 [kN]	最大荷重時	
						P_{max} [kN]	δ_{max} [rad.]
LSB壁-1	正負交番 繰返し加力	68.34	27.57	69.61	94.15	104.41	12.26
LSB壁-2		63.23	29.04	77.41	89.10	116.12	12.16
LSB壁-3		65.07	29.55	79.05	94.71	118.57	12.21
平均		65.55	28.72	75.36	92.65	113.03	12.21
標準偏差		2.59	1.03	5.04	3.09	—	
変動係数		0.040	0.036	0.067	0.033		
ばらつき係数 ^{※2}		0.981	0.983	0.968	0.984		
短期基準せん断耐力 P_0		64.30	28.23	72.95	91.17		
短期許容せん断耐力 P_a		64.30	28.23	72.95	91.17		
壁倍率		—	14.40	—	—		

破壊性状

- ・ ハイテンションボルトの破断
- ・ 一部で面材(LVL)に亀裂が確認された。
- ・ 靱性があまり無い。



GIR・LSB壁の比較



まとめ

- GIR耐力壁 短期許容せん断耐力 64.9kN/m
(壁倍率相当 33倍)
- LSB耐力壁 短期許容せん断耐力 28.2kN/m
(壁倍率相当 14倍)
- 大規模木造建築の高耐力壁や、S造・RC造の建物向けのハイブリット構造部材としての使用を検討中